

## Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	2
2 Aufgabe.....	2
3 Versuchsaufbau und Versuchsmethodik.....	3
3.1 Vorgehen zur Schüttgutcharakterisierung.....	3
3.1.1 Abschätzung der Partikelgröße und der Partikelform.....	3
3.1.2 Bestimmung der Schüttdichte.....	3
3.1.3 Ermitteln der Körngrößenverteilung.....	3
3.1.4 Ermitteln des Böschungswinkels.....	4
3.1.5 Bestimmung der Schüttgutdichte.....	4
3.2 Dosiereinrichtung.....	6
3.2.1 Prinzipielles Vorgehen.....	7
3.2.2 Einstellen von geeigneten Prozessparametern.....	7
4 Versuchsergebnisse und Versuchsauswertung.....	8
4.1 Charakterisierung des Schüttgut Weizen.....	8
4.2 Dosiererergebnisse.....	9
5 Fazit.....	10
Anhang.....	11

## **1 Einführung**

Die Qualität eines verfahrenstechnischen Prozesses spiegelt sich in der Reproduzierbarkeit seiner Ergebnisse. Ein jeder Produzent wird nunmehr ein Interesse daran haben, ein gleichbleibend gutes Produkt zu verkaufen, bei dem alle Inhaltsstoffe in dem durch Versuche für gut befundenen Maß enthalten sind. Es ist dabei nicht einmal notwendig, dass eine gewisse Rezeptur eingehalten werden muss. Allein beim einfachen Abfüllen von Verbrauchsgütern in Gebinde bestimmter Größen ist der Hersteller dazu verpflichtet, sich an die europäische Fertigpackungsrichtlinie zu halten.

Diese Aufgabe erweist sich bei der Volumetrischen Dosierung von Flüssigkeiten dank nahezu inkompressiblen Verhaltens noch als relativ einfach, bei Schüttgütern gestaltet sich das Problem schon etwas komplizierter. Dass sich dabei eine Abfüllung nach dem Volumen bei vielen Schüttgütern als schier gar unmöglich erweist, sieht man auf der Cerealien-Packung auf dem Frühstückstisch. Durch die Bewegungen während des Transports allein hat sich der effektive Packungsinhalt nahezu halbiert.

Im folgenden wird der Ausgangsstoff für Cornflakes, der Weizen, betrachtet und mittels einer Differentialdosierwaage dosiert.

## **2 Aufgabe**

Gemäß der Aufgabenstellung gilt es, 500 g (Sollwert) Weizen innerhalb von 40s zu dosieren. Die maximale Sollwertabweichung darf dabei  $\pm 4$  g betragen. Der Mittelwert der Messungen muss dabei mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im Bereich von  $\pm 3$  g um den geforderten Sollwert liegen.

## **3 Versuchsaufbau und Versuchsmethodik**

### **3.1 Vorgehen zur Schüttgutcharakterisierung**

Vor der Dosierung von Schüttgütern ist es wichtig, dass es gemäß einiger Faktoren charakterisiert wird. Wenn die Dosierung zusätzlich in einem geforderten Rahmen stattfinden soll, sind Prozessparameter wie Grob- und Feinstrom in Vorversuchen zu ermitteln.

#### **3.1.1 Abschätzung der Partikelgröße und der Partikelform**

Zu Beginn des Versuchs ist eine grobe Abschätzung der Weizenpartikel hinsichtlich ihrer Größe und Form notwendig, um eine sinnvolle Siebanalyse durchführen zu können. Mit den grob gemessenen Werten können Siebe mit geeigneter Maschenweite gewählt werden.

#### **3.1.2 Bestimmung der Schüttdichte**

Als nächstes erfolgt die Bestimmung der Schüttdichte. Die Schüttdichte ist definiert als die Dichte, die ein Schüttgut aufweist, wenn es frei, - das heißt ohne Druck und ohne Rütteln - geschüttet wird. Hierzu werden zwei Gefäße, 1-Liter und 0,5-Liter kalibriert. Danach werden sie mit dem Schüttgut befüllt, abgestreift und gewogen. Aus der Masse  $m$  berechnet sich nach (1) die Dichte  $\rho$ . Hierbei ist  $V$  das Volumen der Gefäße.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Diese Messung wird mit jedem Gefäß vier mal durchgeführt und aus den acht Messungen der Mittelwert der Schüttdichte gebildet.

#### **3.1.3 Ermitteln der Körngrößenverteilung**

Bei einer Siebanalyse wird eine bestimmte Masse vom Weizen in das oberste Sieb eines Siebturm gegeben. Der Siebturm besteht aus einem Boden, auf den 4-6 Siebe mit steigender Maschenweite aufgesteckt sind. Nun wird das Schüttgut oben eingegeben und der komplette Turm auf einen Vibrator mit bestimmter Amplitude und gewisser Zeit gestellt.

Eine Auswahl an 4 Sieben der Maschenweiten 5, 4, 2 und 1,4 mm ist sinnvoll, da ein Weizenkorn einen Durchmesser von ca. 2-4 mm (aus Kapitel 4.1) hat. Ein 3 mm Sieb steht leider nicht zur Verfügung. Wie sich durch Überfüllung während des aller ersten Durchlaufs herausstellt ist maximal eine Schüttgutmasse von ca. 360 g möglich. Nach drei Minuten kann davon ausgegangen werden, dass ein Durchgang der Siebanalyse abgeschlossen ist. Danach ist die Einzelmasse der Rückstände des Schüttgut auf den jeweiligen Sieben zu bestimmen. Ebenfalls ist aus der Gesamtmasse und den Einzelmassen eine prozentuale Verteilung der Rückstände zu ermitteln.

Diese Analyse wird drei mal wiederholt, damit die Messwerte bestätigt werden. Die Amplitude ist im ersten und zweiten Durchlauf auf 0,14 mm und im dritten Durchlauf auf 0,07 mm eingestellt, um überprüfen zu können ob eine Verringerung der Amplitude eine Veränderung bewirkt. Die Amplitude wurde auch kurz erhöht, allerdings bewirkt eine kleine Erhöhung bereits eine stark springende Bewegung des Schüttguts.

Aus den drei Durchläufen ist ebenfalls ein Mittelwert zu bilden und in einer Tabelle darzustellen.

### **3.1.4 Ermitteln des Böschungswinkels**

Um den Böschungswinkel bestimmen zu können wird das Schüttgut aus ca. 20 cm Abstand aus dem Eimer auf einen Tisch geschüttet. Hierbei ist zu beachten, dass das Schüttgut ständig von der gleichen Stelle auf den Tisch geschüttet wird. Eine raue Unterlage kann unerwünschtes Abrutschen des Schüttkegels während der Messung verhindern. Der verwendete Tisch hat eine verhältnismäßig glatte Oberfläche. Dies kann eine mögliche Fehlerquelle darstellen. Anschließend ist mit einem Geodreieck der Böschungswinkel des Schüttkegel zu messen.

### **3.1.5 Bestimmung der Schüttguldichte**

Um eine Aussage über die Kompressibilität machen zu können, muss die Schüttguldichte bestimmt werden. Dies geschieht über eine Scherzelle. Eine Scherzelle wird normalerweise benutzt um die Schüttgutfestigkeit zu bestimmen. Sie kann durch ihren Aufbau aber auch zur Schüttguldichtemessung herangezogen werden. Mit der Scherzelle kann das Schüttgut definiert komprimiert werden. Dies geschieht durch aufbringen einer bekannten Kraft  $F$  über einer definierten Fläche  $A$ . Um das verminderte Volumen zu berechnen wird die Eindringtiefe  $s$  des Deckels gemessen.

Die Volumendifferenz berechnet sich nach

$$\Delta V = A \cdot s \quad (2)$$

Über die Dichtedifferenz

$$\Delta \rho = \frac{m}{(V - \Delta V)} - \rho \quad (3)$$

folgt die relative Dichtezunahme

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (4)$$

Diese ist nun über dem Druck

$$p = \frac{F}{A} \quad (5)$$

in einem Diagramm aufzutragen.

Das Schüttgut wurde bis zu einem Maximalgewicht von 20 kg zu belastet.

### 3.2 Dosiereinrichtung

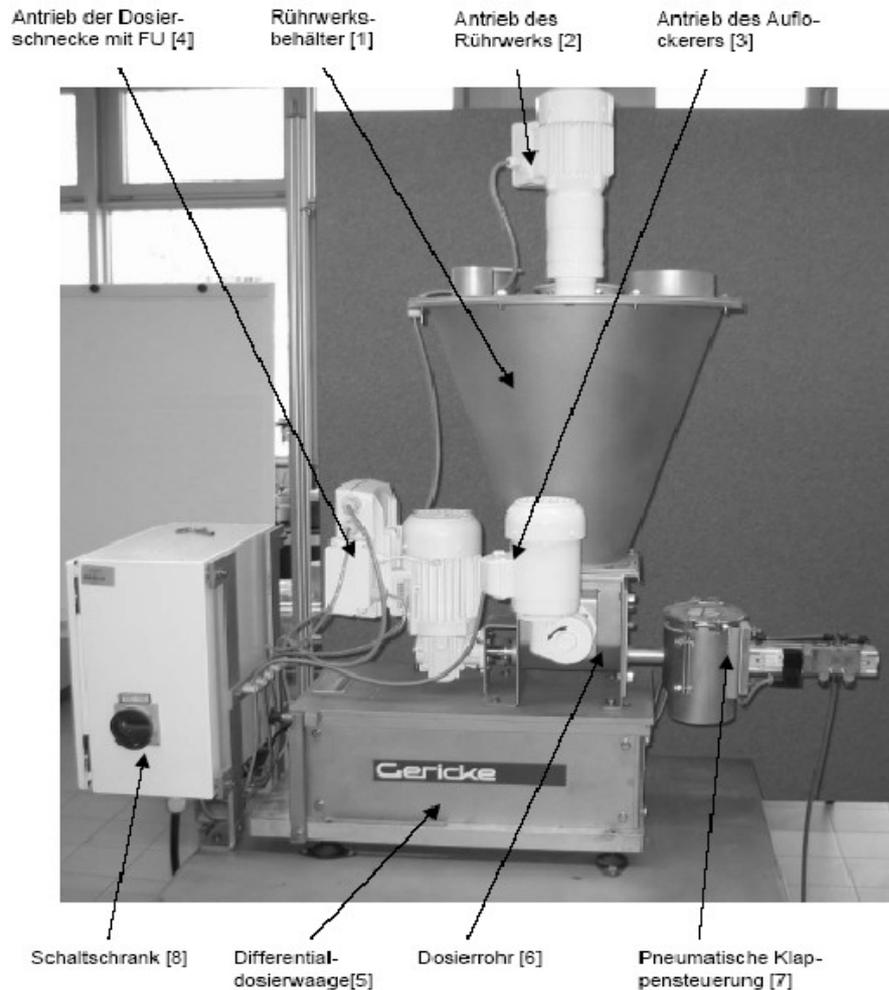


Abbildung 1: Dosiereinrichtung

**Abbildung 1** zeigt die verwendete Dosiereinrichtung. Bei der Durchführung der Dosierung ist darauf zu achten, dass immer möglichst viel Material im Rührwerksbehälter ist, um einen ausreichenden Nachfluss zu fördern. Zum anderen arbeitet die Differentialdosierwaage genauer, wenn sie möglichst mit dem Maximalgewicht von 12 kg beaufschlagt ist. Um dies zu gewährleisten befinden sich ca. 11 kg Weizen im Rührwerksbehälter und der abgegebene Batch wird vor der nächsten Dosierung wieder in den Rührwerksbehälter eingebracht. Die Waage arbeitet nach der subtraktiven Entnahmeverwägung. Die Waage wird zu Beginn des Versuchs kalibriert.

Das Rührwerk verhindert eventuelle Brückenbildung im Schüttgut. Der Auflockerer befindet sich knapp überhalb der Wendel. Er dient dazu eine gleichmäßige Produktzuführung zur Wendel zu gewährleisten.

Die pneumatische Klappensteuerung wird mit einem Druck von 3 bar betrieben. Die Ansteuerung erfolgt über den Schaltschrank. Am Schaltschrank können die Einstellungen wie z.B. Batchgröße, Grob- Feinstrom, Nachlauf eingestellt werden.

### **3.2.1 Prinzipielles Vorgehen**

Folgend sind folgende Punkte nach einander abzuhandeln.

1. Einstellen der gewünschten Parameter
2. Starten der Dosierung und gleichzeitiges Starten der Stoppuhr
3. Überprüfen ob Dosierung in 40 s abgeschlossen ist
4. auf externer Waage dosiertes Gewicht des Batch ermitteln und notieren
5. Batch zurück in Rührwerksbehälter füllen

### **3.2.2 Einstellen von geeigneten Prozessparametern**

An der Dosiereinrichtung wurden die bei einer Batchdosierung wichtigen Prozessparameter wie Grobstromdosierleistung und Feinstrom-dosierleistung in % der Drehzahl eingestellt werden. Die Grobstromdosierleistung sollte möglichst mit 100 % gewählt werden um schnell zu dosieren. Die Feinstromdosierleistung möglichst kleiner 5 % gewählt werden um die geförderte Genauigkeit anzustreben.

Ebenso kann der Umschlagpunkt zwischen Grob- und Feinstrom eingegeben werden. Er gibt an, ab wieviel Gramm der Feinstrom einsetzt. Hierbei ist zu beachten, dass die Drehzahl nicht schlagartig von 100 % auf die Feinstromdrehzahl springt, sondern hier ein fließender Übergang ist, der berücksichtigt werden muss. Wir wählen als Startwert für den Beginn des Feinstroms 495 g bei einer Drehzahl von 5 % aus.

Normalerweise kann bei dieser Dosiereinrichtung auch noch ein Nachlauf eingestellt werden. Er dient dazu eine ständige Überdosierung zu korregieren, indem er die Dosierung stoppt bevor die Waage der Sollwert gemessen hat. Allerdings konnte er bei der Versuchsdurchführung nicht eingestellt werden.

Anhand der Ersteinstellung sind die Prozessparameter entsprechend zu korrigieren und neue Messungen mit veränderten Parametern durchzuführen. Diese Vorgehen ist so oft zu wiederholen bis davon ausgegangen werden kann, dass die best mögliche Einstellung gefunden ist. Nun kann die Verifikationsserie unter Aufsicht von Herrn Behrendt und Herrn Vespermann durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind anschließend statistisch gemäß den Vorgaben, die in Kapitel 2 genannt wurden, auszuwerten.

## 4 Versuchsergebnisse und Versuchsauswertung

### 4.1 Charakterisierung des Schüttgut Weizen

Ein Weizenkorn ist eher länglich mit einem Durchmesser von 2-4 mm und einer Länge von 5-7 mm (**Abbildung 2**).



Abbildung 2: Weizenkörner

Bei der Bestimmung der Schüttdichte beinhalten alle Messungen mit dem 1-Liter Gefäß einen Fehler da die benutzte Waage bei Belastungen über 2 kg falsche Werte liefert. Eine Ersatzwaage für ein Gewicht über 2 kg ist nicht vorhanden. Somit können nur die Werte des 0,5 -Liter Gefäßes als korrekt anerkannt werden. Sie liefern durch (1) eine mittlere Schüttdichte  $\rho$  von  $0,72 \pm 0,098$  kg/l. Die einzelne Messwerte sind im Anhang erhalten.

Die Siebanalyse bestätigt, die relativ grobe Abschätzung vom Weizenkorn da, 97,7 % aller Partikel auf dem 2 mm Sieb zurückbleiben. Wie in **Tabelle 1** zu sehen ist, befinden sich auf dem größten Sieb Durchschnittlich 3,5 g. Dies ist aber kein Weizenkorn sondern Weizenkleie und Mais der mit im Schüttgut enthalten ist.

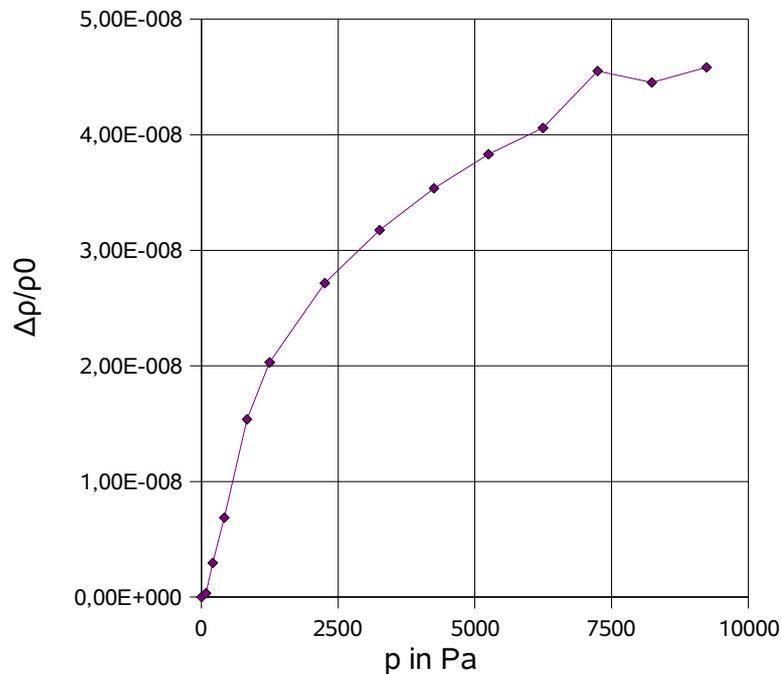
Rückstand auf Sieb	Mittelwert aus 3 Messungen	
	g	Prozent
5,0mm	3,5	1,0
4,0mm	0,9	0,3
2,0mm	351,5	97,7
1,4mm	3,0	0,8

Tabelle 1: Mittelwerte der Siebanalyse

Die einzelnen Wert der drei Messungen sind im Anhang enthalten.

Für den Böschungswinkel  $\alpha_B$  ergibt sich ein Wert von  $28^\circ$ . Anzumerken ist, dass beim vorsichtigen Einschieben des Geodreiecks der Kegel etwas abrutschte und somit bei der freien Schüttung ein Wert von  $\alpha_B > 30^\circ$  aufweist.

Die Schüttgutanalyse liefert **Abbildung 3**. Dort ist zu sehen, dass die Dichte maximal um den Faktor  $4,58E-8$  zunimmt. Hieraus folgt, dass die Kompressibilität von Weizen vernachlässigbar gering ist.



*Abbildung 3: Relative Dichteänderung in Abhängigkeit des Drucks*

Ebenso lässt sich die Entgasungszeit vom Schüttgut vernachlässigen, da Weizen sich nach dem Einschütten in einen Behälter sofort ideal abgesetzt hat. Dies ist bei der Scherzelle als auch bei der Schüttdichtemessung sehr gut zu beobachten.

Nun kann Weizen in die drei Kategorie schlecht fließend (kohäsiv), leicht fließend und frei fließend richtig eingeteilt werden. Da Weizen keine kohäsiven Eigenschaften besitzt ist er nicht schlecht fließend. Aufgrund des Böschungswinkels von ca.  $30^\circ$  ist er auch nicht frei fließend. Deswegen ordnet Weizen sich bei den leicht fließenden Schüttgütern ein.

## **4.2 Dosiererergebnisse**

Nach sechs verschiedenen Einstellungen für die Parameter Feinstrommenge und Feinstromgeschwindigkeit haben sich zwei Einstellung gefunden, mit denen die verlangte Dosierqualität eingehalten werden können:

- a) Masse Feinstrom 51 g mit Förderleistung 3%
- b) Masse Feinstrom 48 g mit Förderleistung 2%

Der Grobstrom lief bei beiden Messungen auf 100% der Drehzahl und die Sollwerteinstellung wurde bei 500 g bei allen Messungen konstant gehalten, da Batchwerte von über 500 g und unter 500 g erreicht wurden. Die Einstellung mit 51 g und 3 % wurde gewählt, da Ausreißer durch den Grobstrom durch einen längeren Feinstrom minimiert werden können.

Mit der nun gewählten Einstellung ist der Dosiervorgang vom Betätigen der Starttaste bis zum Schließen der pneumatischen Klappe im Schnitt in 39 Sekunden, jedoch nie mehr als 40 Sekunden abgeschlossen.

Die zwanzig erzielten Werte, von denen die letzten 13 unter Beisein von Prof. Behrendt und Laborassistenten Herrn Vespermann abgenommen wurden, sind im Anhang einzusehen. Diese Stichprobe ergibt nach (6) einen **Mittelwert**  $\bar{m} = 499,9 \text{ g}$  bei einer **empirischen Standardabweichung**  $S_D = 1,0 \text{ g}$  nach (2). Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5 \%$  und  $n = 20$  Stichproben ergibt sich ein Prüfwert von -0,55. Dieser liegt damit im Annahmehereich der als symmetrischen t-Verteilung von „Student“, welcher laut Aufgabenstellung ein Maximum von  $\pm 3\text{g}$  erreichen durfte. Das Ziel des Versuchs wurde also erreicht.

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_n = 499,9 \text{ g} \quad (6)$$

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 1,0 \text{ g} \quad (7)$$

## 5 Fazit

Nach der Eingangs erwähnten EU-Fertigpackungsrichtlinie wäre eine maximale Abweichung vom Sollwert um 15 g erlaubt gewesen. Damit kann man zum Schluss kommen, dass die Differentialdosierwaage Gericke DIW-KE für eine einfache Abfüllanlage von der Dosiergenauigkeit um einiges zu genau arbeitet und eine kostengünstigere Anlage ebenso ihren Zweck erfüllt hätte.

## Anhang

1-Liter			0,5-Liter Gefäß		
Messung	Gewicht in g		Messung	Gewicht in g	
1	1375,5	Fehlerhaft	1	360,6	
2	1360,8	Fehlerhaft	2	361,8	
3	1362,5	Fehlerhaft	3	357,1	
4	1368,4	Fehlerhaft	4	359,7	
Mittelwert in g	1366,8	Fehlerhaft	Mittelwert in g	359,8	

Tabelle 2: Messwerte zur Schüttgutdichemessung

Rüttelzeit ca. 3min						
Messung	1		2		3	
Amplitude in mm	0,14		0,14		0,07	
Aufgabemasse in g	361,8		357,1		359,7	
	Rückstand auf Sieb in g	Prozent	Rückstand auf Sieb in g	Prozent	Rückstand auf Sieb in g	Prozent
<b>5,0mm</b>	3,5	1,0	4,4	1,2	2,7	0,8
<b>4,0mm</b>	1,1	0,3	1,0	0,3	0,6	0,2
<b>2,0mm</b>	353,8	97,8	348,6	97,4	352,1	98,0
<b>1,4mm</b>	2,7	0,7	3,3	0,9	2,9	0,8
<b>Boden</b>	0,6	0,2	0,6	0,2	1,1	0,3
Gesamtmasse in g	361,7		357,9		359,4	

Tabelle 3: Messwerte der Siebanalyse

Volumen	V	0,0009 m <sup>3</sup>
r(innen)		50 mm
r(außen)		100 mm
Querschnittsfl. Probenraum	A <sub>PR</sub>	0,02 m <sup>2</sup>
Schüttdichte	ρ	719,6 kg/m <sup>3</sup>
berechnete Füllmasse	m <sub>F</sub>	0,6540 kg

Tabelle 4: Geometrische Daten der Scherzelle

aufgelegte Masse $m_z$ in kg	Eindrücktiefe $t$ in mm	Prüfdruck in Pa	Volumendifferenz in $m^3$	Dichtedifferenz in $kg/m^3$	relative Dichtezunahme
0	0	0	0,000000	0	0,00E+000
0,2	0,01	83,27	0,0000002	0,19	3,27E-010
0,5	0,09	208,17	0,0000021	1,68	2,95E-009
1	0,21	416,35	0,0000049	3,94	6,88E-009
2	0,47	832,7	0,0000111	8,88	1,54E-008
3	0,62	1249,05	0,0000146	11,75	2,03E-008
5,42	0,83	2257,02	0,0000196	15,82	2,72E-008
7,83	0,97	3257,93	0,0000229	18,56	3,18E-008
10,22	1,08	4253	0,0000254	20,73	3,54E-008
12,61	1,17	5251,4	0,0000276	22,51	3,83E-008
15	1,24	6245,64	0,0000292	23,9	4,06E-008
17,4	1,39	7244,46	0,0000328	26,9	4,55E-008
19,78	1,36	8235,37	0,0000320	26,3	4,45E-008
22,18	1,4	9235,86	0,0000330	27,1	4,58E-008

Tabelle 5: Messwerte der Schüttgutdichtebestimmung

Einstellungen	Feinstrom- menge in g	Feinstromgeschwin- digkeit in %
	50	2
	Messungen	Batchgewicht in g
	1	498,4
	2	501,1
	3	499,6
	4	498,3
	5	500,5
	6	499,8
	7	502,7
	8	501,8
	9	505,3
	10	505,6
	11	500,7
	12	500,9
	13	499,8
	14	502,1
	15	501,1

ab hier Feinstrom 45 g

ab hier Feinstrom 48 g

Tabelle 6: 1.Messreihe Dosierung

Einstellungen	Feinstrommenge in g	Feinstromgeschwindigkeit in %
	50	1
	Messungen	Batchgewicht in g
	1	499,9
	2	501
	3	500,1
	4	497

Tabelle 7: 2.Messreihe Dosierung

Einstellungen	Feinstrommenge in g	Feinstromgeschwindigkeit in %
	49	2
	Messungen	Batchgewicht in g
	1	502,4
	2	499,7
	3	501
	4	499,7
	5	499,5
	6	501

*Tabelle 8: 3.Messreihe Dosierung*

Einstellungen	Feinstrommenge in g	Feinstromgeschwindigkeit in %
	50	2
	Messungen	Batchgewicht in g
	1	500,1
	2	500,6
	3	500,3
	4	498,8 (zu lang)
	5	501,2
	6	501

*Tabelle 9: 4.Messreihe Dosierung*

Einstellungen	Feinstrommenge in g	Feinstromgeschwindigkeit in %
	52	3
	Messungen	Batchgewicht in g
	1	500
	2	500,4
	3	499,3
	4	500,2 (zu lang)
	5	500,3
	6	499,9
	7	499,2
	8	498,3
	9	499,8
	10	499,4
	11	499,8
	12	499,7

*Tabelle 10: 5.Messreihe Dosierung*

Einstellungen	Feinstrommenge in g	Feinstromgeschwindigkeit in %
	51	3
	Messungen	Bachgewicht in g
	1	501
	2	501,8
	3	499,7
	4	498,6
	5	501
	6	499,7
	7	499
	8	499
	9	499,4
	10	499,7
	11	499,3
	12	500,8
	13	498,7
	14	500,3
	15	500,8
	16	498,7
	17	498,9
	18	501,1
	19	501,1
	20	498,9
Mittelwert in g	$\bar{x}$	499,87500
Standardabweichung in g	s	1,0156020
Standardunsicherheit in g	u	0,22710
	k	2,09
Erweiterte Messunsicherheit in g	U	0,4746296
Ergebniss in g	x	499,9 ± 0,5 [(1-α)=95%]

Tabelle 11: Verifikationsserie (6.Messreihe Dosierung)